

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 1 1 - 2 2 4 9 6 7

(43) 公開日 平成 11 年 (1999) 8 月 17 日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	F I
H 0 1 S	3/10	H 0 1 S 3/10 Z
	3/07	3/07
	3/094	H 0 4 B 3/04 B
H 0 4 B	3/04	H 0 1 S 3/094 S
	10/17	H 0 4 B 9/00 J
審査請求	未請求	請求項の数 3 1 O L (全 1 8 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平 10-23536

(22) 出願日 平成 10 年 (1998) 2 月 4 日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

(72) 発明者 寺原 隆文

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 松本 昂

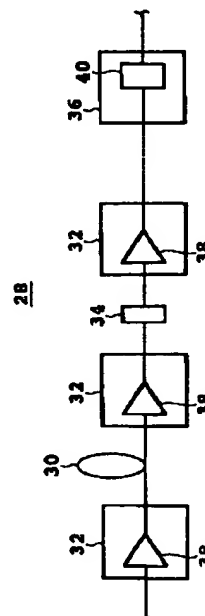
(54) 【発明の名称】 利得等化のための方法並びに該方法の実施に使用する装置及びシステム

(57) 【要約】

【課題】 本発明は利得等化のための方法並びに該方法の実施に使用する装置及びシステムに関し、システム状態の変化に伴う等化誤差の変動を抑圧することができる利得等化方法の提供を主な課題としている。

【解決手段】 波長に対して非線形に変化する利得を有する光増幅器を提供し、波長に対して実質的に線形に変化する利得が得られるように固定利得等化器 3 4 により利得等化し、その後、波長に対して実質的に変化しない利得が得られるように可変利得等化器 4 0 により利得等化するようにして構成する。

各区間の第 1 実施形態を示すブロック図



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 利得等化のための方法であって、

(a) 波長に対して非線形に変化する利得を有する光増幅器を含む光伝送路を提供するステップと、

(b) 波長に対して実質的に線形に変化する利得が得られるように上記光伝送路を利得等化するステップと、

(c) 上記ステップ (b) の後、波長に対して実質的に変化しない利得が得られるように上記光伝送路を利得等化するステップとを備えた方法。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の方法であって、上記ステップ (b) は利得又は損失の波長特性が一定である固定利得等化器を用いるステップを含む方法。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の方法であって、上記ステップ (c) は利得又は損失の波長特性が可変である可変利得等化器を用いるステップを含む方法。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の方法であって、上記ステップ (c) は、利得傾斜を検出するステップと、検出された利得傾斜がフラットになるように上記可変利得等化器を制御するステップとを更に含む方法。

【請求項 5】 請求項 1 に記載の方法であって、上記波長は予め定められた帯域によって限定される方法。

【請求項 6】 請求項 5 に記載の方法であって、上記光増幅器はエルビウムドープファイバ増幅器であり、上記予め定められた帯域は概略 1 5 4 0 n m 乃至 1 5 6 5 n m の範囲によって定義される方法。

【請求項 7】 インライン光増幅器を含む光ファイバスパンと、

波長に対して実質的に線形に変化する利得が得られるように上記光ファイバスパンを利得等化する第 1 の利得等化器と、

波長に対して実質的に変化しない利得が得られるように上記光ファイバスパンを利得等化する第 2 の利得等化器とを備えたシステム。

【請求項 8】 請求項 7 に記載のシステムであって、上記第 1 の利得等化器は利得又は損失の波長特性が一定である固定利得等化器であり、上記第 2 の利得等化器は、利得又は損失の波長特性が可変である可変利得等化器と、上記光ファイバスパンにおける利得傾斜を検出する手段と、該検出された利得傾斜が実質的にフラットになるように上記可変利得等化器を制御する手段とを備えているシステム。

【請求項 9】 請求項 7 に記載のシステムであって、上記波長は予め定められた帯域によって限定されるシステム。

【請求項 1 0】 請求項 9 に記載のシステムであって、上記インライン光増幅器はエルビウムドープファイバ増幅器であり、

上記予め定められた帯域は概略 1 5 4 0 n m 乃至 1 5 6

5 n m の範囲によって定義されるシステム。

【請求項 1 1】 請求項 7 に記載のシステムであって、上記光ファイバスパンの利得の波長特性が  $g(\lambda)$  [d b] 及び  $f(\lambda)$  [d b] の間で変化するとき、上記第 1 の利得等化器の利得又は損失の波長特性  $L(\lambda)$

[d b] は、 $a$  及び  $b$  を定数として、実質的に、 $L(\lambda) = (g(\lambda) + f(\lambda)) / 2 + a\lambda + b$  で与えられるシステム。

【請求項 1 2】 請求項 1 1 に記載のシステムであって、

上記第 2 の利得等化器は波長に対して実質的に線形に変化する利得又は損失を有しているシステム。

【請求項 1 3】 請求項 7 に記載のシステムであって、上記第 2 の利得等化器は、光増幅器と、該光増幅器の光入力を制限するための可変光アッテネータとを含むシステム。

【請求項 1 4】 請求項 7 に記載のシステムであって、上記第 2 の利得等化器は、エルビウムドープファイバと、該エルビウムドープファイバにポンプ光を供給するためのポンプ光源とを含み、

上記ポンプ光のパワーに従って上記エルビウムドープファイバで生じる利得の波長特性が変化させられるシステム。

【請求項 1 5】 請求項 7 に記載のシステムであって、上記第 2 の利得等化器は、利得又は損失の波長特性が可変である可変利得等化器と、上記光ファイバスパンにおける利得傾斜を検出するスペクトルモニタと、該検出された利得傾斜がフラットになるように上記可変利得等化器を制御する手段とを含み、

上記スペクトルモニタは、互いに異なる帯域に含まれる第 1 及び第 2 の光ビームを抽出するための光フィルタと、上記第 1 及び第 2 の光ビームのパワーを検出するための手段とを含むシステム。

【請求項 1 6】 請求項 7 に記載のシステムであって、上記第 2 の利得等化器は、少なくとも 2 つの光路を切り換えるための少なくとも 2 つの光スイッチと、上記少なくとも 2 つの光路に設けられ互いに異なる損失の波長特性を有する少なくとも 2 つの光フィルタとを含むステップ。

【請求項 1 7】 請求項 7 に記載のシステムであって、上記光ファイバスパンの両端に接続される第 1 及び第 2 の端局を更に備えたシステム。

【請求項 1 8】 請求項 1 7 に記載のシステムであって、

上記第 1 の端局は監視信号を上記光ファイバスパンへ送出する手段を含み、上記第 2 の利得等化器は、利得又は損失の波長特性が可変である可変利得等化器と、上記監視信号を受ける手段とを含むシステム。

【請求項 1 9】 請求項 1 8 に記載のシステムであって、

上記第2の利得等化器は、上記受けた監視信号に従って上記可変利得等化器の動作をオン／オフする手段を更に含むシステム。

【請求項20】 請求項18に記載のシステムであって、  
上記第2の利得等化器は、上記受けた監視信号に基づいて上記可変利得等化器を制御する手段を更に含むシステム。

【請求項21】 請求項18に記載のシステムであって、  
上記第2の端局は、上記光ファイバスパンにおける利得傾斜を検出するための手段と、該検出された利得傾斜に関する情報を上記第1の端局へ送る手段とを含み、  
上記第1の端局は、上記情報に基づいて上記監視信号を生成する手段を更に含み、  
上記第2の利得等化器は、上記受けた監視信号に従って上記利得傾斜がフラットになるように上記可変利得等化器を制御する手段を更に含むシステム。

【請求項22】 請求項17に記載のシステムであって、  
上記第2の端局は、上記光ファイバスパンにおける利得傾斜を検出するための手段と、該検出された利得傾斜に関する情報を上記第2の利得等化器へ送る手段とを含み、  
上記第2の利得等化器は、利得又は損失の波長特性が可変である可変利得等化器と、上記情報を受けるための手段と、上記受けた情報に従って上記利得傾斜がフラットになるように上記可変利得等化器を制御する手段とを含むシステム。

【請求項23】 請求項7に記載のシステムであって、  
上記第2の利得等化器は、第1及び第2の偏光子と、該第1及び第2の偏光子の間に設けられる複屈折素子及び可変ファラデー回転子とを含むシステム。

【請求項24】 利得の波長特性を有する光ファイバスパンに適用される可変利得等化器であって、  
各々上記光ファイバスパンの一部となり得る少なくとも2つの光路を切り換えるための少なくとも2つの光スイッチと、  
上記少なくとも2つの光路に設けられ互いに異なる損失の波長特性を有する少なくとも2つの光フィルタとを備えた可変利得等化器。

【請求項25】 各々インライン光増幅器を含む複数の区間からなる光ファイバスパンを備えたシステムであって、  
上記複数の区間の各々は、  
当該区間における利得の波長特性を概略的に補償するための第1の利得等化器と、  
上記光ファイバスパンの状態に従って生じる等化誤差の変動を補償するための第2の利得等化器とを備えているシステム。

【請求項26】 請求項25に記載のシステムであって、  
上記各第2の利得等化器は当該区間の最も下流側に設けられているシステム。

【請求項27】 請求項25に記載のシステムであって、  
上記各区間の利得の波長特性が  $g(\lambda)$  [dB] 及び  $f(\lambda)$  [dB] の間で変化するとき、  
上記各第1の利得等化器の利得又は損失の波長特性  $L(\lambda)$  [dB] は、 $a$  及び  $b$  を定数として、実質的に、  
$$L(\lambda) = (g(\lambda) + f(\lambda)) / 2 + a\lambda + b$$
  
で与えられるシステム。

【請求項28】 請求項27に記載のシステムであって、  
上記第2の利得等化器は波長に対して実質的に線形に変化する利得又は損失を有しているシステム。

【請求項29】 請求項25に記載のシステムであって、  
上記各第1の利得等化器は利得又は損失の波長特性が一定である固定利得等化器であり、  
上記各第2の利得等化器は、利得又は損失の波長特性が可変である可変利得等化器と、上記各区間における利得傾斜を検出する手段と、該検出された利得傾斜が実質的にフラットになるように上記可変利得等化器を制御する手段とを備えているシステム。

【請求項30】 請求項29に記載のシステムであって、  
上記可変利得等化器は、第1及び第2の偏光子と、該第1及び第2の偏光子の間に設けられる複屈折素子及び可変ファラデー回転子とを備えているシステム。

【請求項31】 利得等化のための方法であって、  
(a) 光増幅器を含む光伝送路を提供するステップと、  
(b) 波長に対して実質的に線形に変化する利得が得られるように、上記光増幅器に供給される光の波長を制限するステップと、  
(c) 上記ステップ(b)の後、波長に対して実質的に変化しない利得が得られるように上記光伝送路を利得等化するステップとを備えた方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、利得等化のための方法並びに該方法の実施に使用する装置及びシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、低損失（例えば0.2 dB/km）な光ファイバの製造技術及び使用技術が確立され、光ファイバを伝送路とする光通信システムが実用化されている。また、光ファイバにおける損失を補償して長距離の伝送を可能にするために、信号光を増幅するための光増幅器の使用が提案され或いは実用化されている。

【0003】従来知られている光増幅器は、増幅されるべき信号光が供給される光増幅媒体と、光増幅媒体が信号光の波長を含む利得帯域を提供するように光増幅媒体をポンピング（励起）する手段とを備えている。例えば、エルビウムドープファイバ増幅器（EDFA）は、光増幅媒体としてのエルビウムドープファイバ（EDF）と、予め定められた波長を有するポンプ光をEDFに供給するためのポンプ光源とを備えている。0.98  $\mu\text{m}$ 帯或いは1.48  $\mu\text{m}$ 帯の波長を有するポンプ光を用いることによって、波長1.55  $\mu\text{m}$ 帯を含む利得帯域が得られる。また、半導体チップを光増幅媒体として用いる光増幅器も知られている。この場合、半導体チップに電流を注入することによってポンピングが行われる。

【0004】一方、光ファイバによる伝送容量を増大させるための技術として、波長分割多重（WDM）がある。WDMが適用されるシステムにおいては、異なる波長を有する複数の光キャリアが用いられる。各光キャリアを独立に変調することによって得られた複数の光信号が光マルチプレクサにより波長分割多重され、その結果得られたWDM信号光が光ファイバ伝送路に送出される。受信側では、受けたWDM信号光が光デマルチプレクサによって個々の光信号に分離され、各光信号に基づいて伝送データが再生される。従って、WDMを適用することによって、当該多重数に応じて一本の光ファイバにおける伝送容量を増大させることができる。

【0005】WDMが適用されるシステムに光増幅器を組み入れる場合、利得傾斜（ゲインチルト）或いは利得偏差で代表される利得の波長特性によって伝送距離が制限される。例えば、EDFAにおいては、波長1.55  $\mu\text{m}$ の近傍で利得傾斜が生じ、この利得傾斜はEDFAへの信号光のトータル入力パワー及びポンプ光のパワーに従って変化することが知られている。

【0006】光増幅器の利得の波長特性に対する対策として、利得等化法が知られている。これを図1乃至図3により説明する。図1は、WDMが適用される従来の光通信システムの例を示すブロック図である。複数の光送信機（OS）2（#1, ..., #N）から出力された波長が異なる光信号は、光マルチプレクサ4において波長分割多重される。波長分割多重の結果得られたWDM信号光は光伝送路6に送出される。

【0007】光伝送路6は、光ファイバ伝送路7の途中に損失補償用の複数の光増幅器8と1つ以上の利得等化器10を設けて構成されている。各利得等化器10は光フィルタによって提供される。

【0008】光伝送路6により送られてきたWDM信号光は、光デマルチプレクサ12によって波長に従って個々の光信号に分離され、光受信機（OR）14（#1, ..., #N）に供給される。

【0009】図2を参照すると、図1のシステムにおい

て光マルチプレクサ4から光伝送路6に送出されるWDM信号光のスペクトルの例が示されている。縦軸は光パワー、横軸は波長を表している。ここでは、光送信機2（#1, ..., #N）はそれぞれ波長（ $\lambda_1, \dots, \lambda_N$ ）の光信号を出力するものとしている。プリエンファシスを考慮しなければ、一般的には、各チャネルの光信号の光パワーは等しい。この例では、WDM信号光の帯域は、符号16で示されるように、 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の波長範囲によって定義される。

10 【0010】図1のシステムにおいて、各光増幅器8がWDM信号光の帯域16において利得の波長特性を有していると、利得傾斜又は利得偏差が光伝送路6の全長に渡って累積し、信号電力或いは信号対雑音比（光SNR）のチャネル間偏差が生じてしまう。

【0011】利得等化法では、各利得等化器10の損失の波長特性を、多段接続された光増幅器8の総利得の波長特性が相殺されるように設定する。これを図3により具体的に説明する。図3において、符号18で示される破線は、多段接続された光増幅器8の総利得の波長特性であり、符号20で示される実線は、利得等化器10における損失の波長特性を示している。図示された例では、WDM信号光の帯域16において、総利得の波長特性が損失の波長特性によって相殺されており、これにより光伝送路6の全体における利得等化がなされている。

20 【0012】各光増幅器8としてEDFAが用いられる場合、その利得の波長特性は、一般的には、波長軸に対して非対称形である。これに対して、各利得等化器10の構成要素（エレメント）として用いられ得る1つの光フィルタの損失の波長特性は対称形である。従って、各利得等化器10が1つの光フィルタだけを含む場合には、累積した光増幅器8の非対称な利得の波長特性を補償することは不可能である。光フィルタとしては、誘電体多層膜フィルタ、エタロンフィルタ及びマッハツェンダフィルタ等が知られており、これらは精度良く作製することができ且つ信頼性が保証されている。

30 【0013】尚、関連する従来技術として、光増幅器の非対称な利得の波長特性を補償するために、損失の波長特性が異なる2つ以上の光フィルタを組み合わせる利得等化器を構成することが提案されている。これにより、与えられたWDM信号光の帯域において利得の波長特性が高精度に損失の波長特性によって相殺される。

40 【0014】利得等化法の付加的な詳細については、下記の文献[1]を、また、複数光フィルタの組み合わせについては文献[2]、[3]及び[4]を参照されたい。

[1] N. S. Bergano et al., "Wavelength division multiplexing in long-haul transmission systems", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. 14, NO. 6, JUNE 1996, pp1229-1308

[2] K. Oda et al., "128channel, 480km FSK-DD

transmission experiment using 0.98  $\mu$ m pumped erbium doped fibre amplifiers and a tunable gain equalizer", ELECTRONICS LETTERS, 9th June 1994, Vol.30, No.12, pp982-983

[3] T. Naito et al., "85-Gb/s WDM transmission experiment over 7931km using gain equalization to compensate for asymmetry in EDFA gain characteristics", First Optoelectronics and Communications Conference(OECC'96) Technical Digest, July 1996, P D1-2

[4] T. Oguma et al., "Optical gain equalizer for optical fiber amplifier", 1996年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会、B-1093(pp578)

#### 【0015】

【発明が解決しようとする課題】光増幅器の利得の波長特性は、光増幅器のポンピング状態や信号光の入力パワー等の動作条件によって変化する。例えば、海底光増幅中継システムでは、経時劣化による光ファイバ損失の増加や修理のためのケーブル割り入れ等により、光増幅器への入力パワーが変化する場合があります。このようにシステム状態が変化した場合には、光増幅器の動作条件が変化するため、利得の波長特性も変化する事となる。また、光増幅器の製造ばらつきにより、利得の波長特性が設計値からずれることもある。

【0016】従来のように、損失の波長特性が固定されている光フィルタを用いた利得等化法では、システム状態が変わり、光増幅器の利得の波長特性が例えば図4に示されるように符号18で示される特性から符号18'で示される特性に変化した場合に、光増幅器の利得の波長特性と光フィルタの損失の波長特性が一致しなくなるため、等化誤差が生じる。この等化誤差はシステム状態によって変動し、その量が大きくなると、信号電力或いは光SNRのチャンネル間偏差が生じ、あるチャンネルではその伝送品質が著しく損なわれることになる。

【0017】このような点に鑑み、損失の波長特性が可変である可変利得等化器を用いる方法が提案されている。可変利得等化器としては、マッハツェンダ型の帯域阻止光フィルタを用いたものが提案されている。

【0018】しかし、従来の可変利得等化器では、等化誤差の変動に対して任意の損失の波長特性を得ることができないので、システム状態の変化に伴う等化誤差の変動を十分に抑圧することができないという問題があった。

【0019】よって、本発明の目的は、システム状態の変化に伴う等化誤差の変動を抑圧することができる利得等化のための方法を提供することにある。本発明の他の目的は、そのような方法の実施に使用する新規な装置(利得等化器)及びシステムを提供することにある。

【0020】本発明の更に他の目的は以下の説明から明らかになる。

#### 【0021】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の側面によると、利得等化のための方法が提供される。まず、波長に対して非線形に変化する利得を有する光増幅器を含む光伝送路が提供される(ステップ(a))。次いで、波長に対して実質的に線形に変化する利得が得られるように光伝送路が利得等化される(ステップ(b))。そして、波長に対して実質的に変化しない利得が得られるように光伝送路が利得等化される(ステップ(c))。

10 【0022】この方法によると、波長に対して実質的に線形に変化する利得が得られるように利得等化するステップ(b)の後に、波長に対して実質的に変化しない利得が得られるように利得等化するようにしているので、システム状態の変化に伴う等化誤差の変動を容易に抑圧することができる。

【0023】望ましくは、ステップ(b)は、利得又は損失の波長特性が一定である固定利得等化器を用いるステップを含む。望ましくは、ステップ(c)は、利得又は損失の波長特性が可変である可変利得等化器を用いる  
20 ステップを含む。この場合、例えば、利得傾斜が検出され、検出された利得傾斜がフラットになるように可変利得等化器が制御される。

【0024】尚、この出願において、「利得(又は損失)が波長に対して実質的に線形に変化する」というのは、縦軸を利得(又は損失)の対数表示(例えばdB表示)とし、横軸を波長(又は周波数)の真数表示としたときに、これらの間に直線的な関係が得られることをいう。

【0025】本発明の第2の側面によると、光ファイバスパンと、第1の利得等化器と、第2の利得等化器とを備えたシステムが提供される。光ファイバスパンはインライン光増幅器を含む。インライン光増幅器は、例えば、波長に対して非線形に変化する利得を有する。第1の利得等化器は、波長に対して実質的に線形に変化する利得が得られるように光ファイバスパンを利得等化する。第2の利得等化器は、波長に対して実質的に変化しない利得が得られるように光ファイバスパンを利得等化する。  
30

【0026】本発明の第3の側面によると、各々インライン光増幅器を含む複数の区間からなる光ファイバスパンを備えたシステムが提供される。複数の区間の各々は、当該区間における利得の波長特性を概略的に補償するための第1の利得等化器と、光ファイバスパンの状態に従って生じる等化誤差の変動を補償するための第2の利得等化器とを備えている。

【0027】本発明の第4の側面によると、利得の波長特性を有する光ファイバスパンに適用される可変利得等化器が提供される。可変利得等化器は、各々光ファイバスパンの一部となり得る少なくとも2つの光路を切り換えるための少なくとも2つの光スイッチと、少なくとも  
50

2つの光路に設けられ互いに異なる損失の波長特性を有する少なくとも2つの光フィルタとを備えている。

【0028】本発明の第5の側面によると、利得等化のための他の方法が提供される。まず、光増幅器を含む光伝送路が提供される。次いで、波長に対して実質的に線形に変化する利得が得られるように、光増幅器に供給される光の波長が制限される。例えば、光増幅器にWDM信号光が供給される場合には、WDM信号光の帯域が制限される。そして、波長に対して実質的に変化しない利得が得られるように光伝送路が利得等化される。

【0029】

【発明の実施の形態】以下、本発明の望ましい実施の形態を詳細に説明する。図5は本発明による光通信システムの第1実施形態を示すブロック図である。このシステムは、光送信装置22と、光受信装置24と、装置22及び24間に敷設される光ファイバスパン26とを備えている。

【0030】光ファイバスパン26は、カスケード接続された複数の区間28を含む。光送信装置22は、異なる波長の光信号を出力する複数の光送信機2（#1，…，#N）と、これらの光信号を波長分割多重して波長分割多重信号光（WDM信号光）を得るための光マルチプレクサ4とを備えている。得られたWDM信号光は光ファイバスパン26へ供給される。

【0031】光受信装置24は、光ファイバスパン26からのWDM信号光を波長に従って分離して個々のチャネルの光信号を得るための光デマルチプレクサ12と、これらの光信号を受けるための複数の光受信機14（#1，…，#N）とを備えている。

【0032】図6は各区間の第1実施形態を示すブロック図である。区間28は、光ファイバ30と、光ファイバ30の途中に設けられる複数の光中継器32と、光ファイバ30の途中に設けられる固定利得等化器34と、光ファイバ30の途中に設けられる可変利得等化ユニット36とを備えている。

【0033】各光中継器32はインライン型の光増幅器38を含んでいる。光増幅器38としては例えば後述する可変利得等化器としても使用可能なエルビウムドープファイバ増幅器（EDFA）を採用可能である。

【0034】可変利得等化ユニット36は、利得又は損失の波長特性が可変である可変利得等化器40を含んでいる。可変利得等化器ユニット36は、望ましくは、可変利得等化器40の制御を容易にするために、区間28の信号光伝搬方向の最も下流側に設けられている。

【0035】ここでは、固定利得等化器34は隣り合う2つの光中継器32の間の光ファイバ30に1つ設けら

$$L(\lambda) = (g(\lambda) + f(\lambda)) / 2 + a\lambda + b \dots\dots\dots (2)$$

固定利得等化器34の損失の波長特性がこのように設計されると、 $g(\lambda)$ 及び $f(\lambda)$ に対するそれぞれの等

$$\Delta g(\lambda) = g(\lambda) - L(\lambda)$$

\*れている。固定利得等化器34としては、誘電体多層膜フィルタ、エタロンフィルタ、マッハツェンダフィルタ、ファイバグレーティングフィルタ或いはこれらの組み合わせを用いることができる。

【0036】本発明のある側面によると、固定利得等化器34は、波長に対して実質的に線形に変化する利得が得られるように区間28を利得等化し、可変利得等化ユニット36は、波長に対して実質的に変化しない利得が得られるように区間28を利得等化する。

10 【0037】本発明の他の側面によると、固定利得等化器34は、区間28における利得の波長特性を概略的に補償し、可変利得等化ユニット36は、区間28又は光ファイバスパン26（図5参照）の状態に従って生じる等化誤差の変動を補償する。尚、区間28の利得は、光ファイバの損失を含めて考えてもよい。

【0038】例えば、波長は予め定められた帯域によって限定される。各光増幅器38が通常のEDFAである場合には、予め定められた帯域は概略1540nm乃至1565nmの範囲によって定義され得る。

20 【0039】図6の実施形態において、固定利得等化器34による利得等化の後に残留する等化誤差と可変利得等化ユニット36の利得の波長特性との一致を容易にするためには、固定利得等化器34の損失の波長特性を適切に設計することが望ましい。その具体的手法を以下に説明する。

【0040】図7は、区間28の利得の波長特性の変化を説明するための図である。区間28の利得の波長特性は、光ファイバスパン26の状態（例えば光ファイバ30の損失の増減）に対して、 $g(\lambda)$  [db]と $f$

30  $(\lambda)$  [db]との間で変化すると仮定する。ここで、 $g(\lambda)$ は、長波長側の利得が最大となり短波長側の利得が最小となる波長特性を表しており、 $f(\lambda)$ は、短波長側の利得が最大となり長波長側の利得が最小となる波長特性を表している。

【0041】 $g(\lambda)$ と $f(\lambda)$ の差は、図8に示されるように、波長 $\lambda$ に対してほぼ直線的な関係を示す。即ち、

$$g(\lambda) - f(\lambda) \approx c\lambda \dots\dots\dots (1)$$

と近似することが可能である。ここで、右辺の波長に依存しない定数項は省略してある。(1)式のような特性はシステムに特有なものではなく、通常のEDFAを用いたシステムで一般的に得られる特性である。

【0042】固定利得等化器34の損失の波長特性 $L(\lambda)$  [db]は、(2)式を満足するように設計する。

※化誤差 $\Delta g(\lambda)$ 及び $\Delta f(\lambda)$ は次のようになる。

【0043】

$$\begin{aligned}
 &= (g(\lambda) - f(\lambda)) / 2 - a\lambda - b \\
 &= (c / 2 - a)\lambda - b \quad \dots\dots\dots (3) \\
 \Delta f(\lambda) &= f(\lambda) - L(\lambda) \\
 &= (f(\lambda) - g(\lambda)) / 2 - a\lambda - b \\
 &= (-c / 2 - a)\lambda - b \quad \dots\dots\dots (4)
 \end{aligned}$$

(3)式及び(4)式より、等化誤差は波長に対して実質的に線形的となり、等化誤差の傾斜は係数aに依存することがわかる。係数aは、可変利得等化ユニット36の特性に合わせて決定される量である。また、係数bは、固定利得等化器34のオフセット損失であり、利得偏差には直接関係しない量である。

【0044】図9及び図10は等化誤差の波長特性の例を示すグラフである。図9では $a = 0 \text{ dB/nm}$ であり、等化誤差の波長特性の傾斜は正の値と負の値との間で変化し得る。

【0045】また、図10では $a = 0.2 \text{ dB/nm}$ であり、等化誤差の波長特性の傾斜は0と正の値との間で変化し得る。このように、等化誤差の波長特性が実質的に波長に対して線形的である場合、波長に対して実質的に線形に変化する利得又は損失を有している可変利得等化器40を可変利得等化ユニット36の構成要素として用いることができる。即ち、可変利得等化器40の利得の傾斜を $S_a$ とし、等化誤差の傾斜を $S_e$ とすると共に、 $S_a = -S_e$ となるような制御を行うことによって、光ファイバスペン26の利得傾斜が常にフラットになる。

【0046】図11の(A)は可変利得等化器40の第1実施形態を示すブロック図である。ここでは、可変利得等化器40は、光増幅器42と、光増幅器42の光入力力を制限するための可変光アッテネータ44とを含む。可変光アッテネータ44による減衰は、制御端子46に供給される制御信号により調節される。

【0047】一般的に、光増幅器42においては、その光入力レベルによって動作状態が変わり、光増幅器42の利得の波長特性が変化する。従って、制御信号に基づいて可変光アッテネータ44の減衰を制御することによって、光増幅器42の利得の波長特性を制御することができる。

【0048】可変光アッテネータ44としては、減衰を電氣的に制御可能な磁気光学効果を応用したものを採用することができる。図11の(A)に示される実施形態では、可変光アッテネータ44が光増幅器42の入力側に設けられているので、アッテネータ44の損失により光増幅器42の雑音指数(NF)が増加(劣化)するかも知れない。これを避けるためには、図11の(B)に示されるように、アッテネータ44の入力側にもう1つの光増幅器42'を付加的に設けて可変利得等化器40を改良すると良い。光増幅器42'によりアッテネータ44の損失が補償されるので、光増幅器42の入力レベルが高くなり、雑音指数が減少する(良好になる)。

【0049】図12は可変利得等化器40の第2実施形態を示すブロック図である。ここでは、可変利得等化器40は、エルビウムドープファイバ(EDF)48と、EDF48にポンプ光を供給するためのWDMカプラ50及びレーザダイオード(LD)52とを含んでいる。EDFの第1端には増幅すべき信号光が供給され、ポンプ光はWDMカプラ50を介してEDF48にその第2端から供給される。ポンプ光によりポンピングされているEDF48に信号光が供給されると、信号光は増幅され、増幅された信号光は、WDMカプラ50及び光アイソレータ54をこの順に通って出力される。

【0050】EDF48で生じる利得の波長特性は、制御端子56に供給される制御信号に従って、レーザダイオード52の駆動電流が調節されることにより変化させられる。

【0051】EDF48として高濃度にA1を添加したEDFを用いることによって、概略1540nm乃至1565nmの範囲によって定義される帯域で、波長の利得特性が波長に対して実質的に線形的となる。

【0052】図13を参照すると、図12に示される可変利得等化器40の利得の波長特性の変化が示されている。波長1548、1551、1554及び1557nmの4チャンネルのWDM信号光を同じ入力パワー( $-3.5 \text{ dBm/ch}$ )で、ポンピングされているEDF48に入力したときの出力光のスペクトルが示されている。縦軸は出力パワー(dBm)であり、横軸は波長(nm)である。

【0053】Aで示されるスペクトルはポンプ光のパワーが比較的大きいときに対応しており、概略1.54乃至1.56 $\mu\text{m}$ の帯域において負の利得傾斜が生じている。即ち、波長が長くなるに従って利得が減少する利得傾斜であり、利得(G)の波長( $\lambda$ )による微分は負である( $dG/d\lambda < 0$ )。

【0054】Cで示されるスペクトルはポンプ光のパワーが比較的小さいときに対応しており、概略1.54乃至1.56 $\mu\text{m}$ の帯域において正の利得傾斜が生じている。即ち、波長が長くなるに従って利得が増大する利得傾斜であり、利得の波長微分は正である( $dG/d\lambda > 0$ )。

【0055】Bで示されるスペクトルは、概略1.54乃至1.56 $\mu\text{m}$ の帯域において利得傾斜を生じさせない或いは利得傾斜がフラットになるための最適なポンプ光パワーに対応しており、利得の波長微分は0である( $dG/d\lambda = 0$ )。

【0056】何れのスペクトルも、ASE(増幅された



自然放出光)のスペクトルに各チャネルの光信号に対応する4つの鋭いスペクトルが重畳された形状を有している。尚、ASEのスペクトルには小信号に対するEDF 48の利得の波長特性が依存することが知られている。

【0057】可変利得等化器40として、マツハツェンダ型光フィルタ及びAOTF(アコースティック・オプティカル・チューナブル・フィルタ)等の可変光フィルタを用いることもできる。

【0058】図14は可変光フィルタの損失の波長特性の例を示す図である。ここでは、損失の波長特性は、符号58及び60で示される範囲で可変であり、即ち帯域阻止特性が得られている。従って、符号62及び64で示されるような損失が実質的に波長に対して線形的に変化する範囲でこの可変光フィルタを用いることによって、固定利得等化器34による利得等化で残留した等化誤差を補償することができる。

【0059】図15の(A)及び(B)を参照すると、それぞれ可変利得等化器40の第3及び第4実施形態が示されている。各実施形態では、複屈折板BP及び可変ファラデー回転子FRは、第1の偏光子P1と第2の偏光子P2との間に設けられる。第1の偏光子P1は、透過する偏光の偏光軸を決定する透過軸P1Aを有しており、第2の偏光子P2は、透過する偏光の偏光軸を決定する透過軸P2Aを有している。複屈折板BPは、透過する直交2偏光成分間に与えられる位相差を決定する光学軸(C1軸及びC2軸あるいはその何れか一方)を有している。可変ファラデー回転子FRは、透過する偏光に可変のファラデー回転角を与える。そして、複屈折板BP及び可変ファラデー回転子FRの配列順序と光学軸(例えばC1軸)並びに透過軸P1A及びP2Aの相対的位置関係とは、透過率の波長特性を与える特性曲線の形状がファラデー回転角の変化に従って透過率の軸の方向に変化するように設定される。

【0060】図15の(A)に示される第3実施形態では、入力光は、光路OPに沿って第1の偏光子P1、複屈折板BP、可変ファラデー回転子FR及び第2の偏光子P2をこの順に通過する。

【0061】図15の(B)に示される第4実施形態では、入力光は、光路OPに沿って第1の偏光子P1、可変ファラデー回転子FR、複屈折板BP及び第2の偏光子P2をこの順に通過する。

【0062】図16は図15の(A)及び(B)に示される可変利得等化器40の各実施形態における部材間の位置関係を示す図である。ここでは、直交三次元座標系(X, Y, Z)において、Z軸は光路OPに平行であるとし、Y軸は第1の偏光子P1の透過軸P1Aに平行であるとする。また、 $\phi$ 、 $\theta$ 及び $\delta$ を次のように定義する。

【0063】 $\phi$ : 複屈折板BPのC1軸と第1の偏光子P1の透過軸P1A(Y軸)とがなす角。符号は、Y軸

からC1軸に向かって回転するときに右回りとなる角を正とする。

【0064】 $\theta$ : 複屈折板BPのC1軸と第2の偏光子P2の透過軸P2Aとがなす角。符号は、透過軸P2AからC1軸に向かって回転するときに右回りとなる角を正とする。

【0065】 $\delta$ : 第1の偏光子P1の透過軸P1A(Y軸)と第2の偏光子P2の透過軸P2Aとがなす角。符号は、Y軸から透過軸P2Aに向かって回転するときに右回りとなる角を正とする。

【0066】従って、 $\phi = \theta + \delta$ となる。また、ファラデー回転子FRによって与えられるファラデー回転角 $\alpha$ の符号は、X軸からY軸に向かって回転するときに左回りとなる角を正とする。

【0067】尚、図16において、符号PSで表される楕円(円を含む)及び直線の群は、 $\alpha = 0$ であるとしたときにおける複屈折板BPの出力における偏光状態の波長依存性を表している。

【0068】可変利得等化器40の透過光強度に波長依存性を持たせるためには、「 $\sin(2\phi) \sin(2\theta)$ が常に0である」という条件を避ける必要がある。このため、図15の(A)に示される第3実施形態のようにファラデー回転子FRを用いて角 $\theta$ を実質的に変化させる場合には、 $\phi \neq n\pi/2$ ( $n$ は整数)とする。また、図15の(B)に示される第4実施形態のように、ファラデー回転子FRを用いて角 $\phi$ を実質的に変化させる場合には、 $\theta \neq n\pi/2$ ( $n$ は整数)とする。

【0069】光学理論によれば、光の偏光状態及び光素子とその通過光に及ぼす作用は、 $1 \times 2$ 行列で表されるジョーンズベクトル(Jones Vector)及び $2 \times 2$ 行列で表されるジョーンズマトリックス(Jones Matrix)により表現される。また、各通過点における光電力は、ジョーンズベクトルの2成分の二乗和で表される。ジョーンズベクトル及びジョーンズマトリックスを用いた行列計算により、可変利得等化器40の透過率(電力透過率)を計算可能である。

【0070】図17は、図15の(A)に示される第3実施形態における透過率の波長特性を計算した結果を表している。ここでは、 $\phi = \pi/4$ 、 $\delta = 0$ とし、ファラデー回転角 $\alpha$ を変化させている。縦軸は透過率(dB)、横軸はFSRで規格化された相対波長を表している。ここでは、波長特性を与える特性曲線の形状が、相対波長が0.25及び-0.25である点を不動点として、ファラデー回転角 $\alpha$ に従って透過率の軸(縦軸)の方向に変化していることが明らかである。

【0071】 $\phi = \pi/4$ とした場合には、 $-\delta < \alpha < \pi/2 - \delta$ の範囲( $\pi/2$ の範囲)で、又は、 $\phi = -\pi/4$ とした場合には、 $-\delta > \alpha > -\pi/2 - \delta$ の範囲( $\pi/2$ の範囲)でファラデー回転角 $\alpha$ を変化されば、透過率の波長特性が取り得る全ての状態を実現することがで



きる。

【0072】また、この関係により、 $\delta = 0$ 、即ち透過軸P1A及びP2Aを互いに平行にすると、変化させるファラデー回転角 $\alpha$ の符号は正負どちらか一方だけを選べばよいことがわかる。従って、 $\delta = 0$ とすることにより、 $0 < \alpha < \pi/2$ 又は $0 > \alpha > -\pi/2$ となり、ファラデー回転角 $\alpha$ を一方向だけに与える可変ファラデー回転子を用いることができるようになり、ファラデー回転子FRの構成を簡単にすることができる。このことは、図15の(B)に示される第3実施形態においても同様である。

【0073】これとは逆に、ファラデー回転角 $\alpha$ を両方向に与えることができる可変ファラデー回転子を用いれば、 $\delta = \phi$ と設定することにより、 $\alpha = 0$ のときに透過率が波長によらず一定になる。例えば、可変利得等化器40をシステムに組み込んだ場合において、制御オフとなり $\alpha = 0$ となったときに、透過率が波長によらず一定となっていることが望ましい場合がある。また、このときには $-\pi/4 < \alpha < \pi/4$ となるため、ファラデー回転角 $\alpha$ の絶対値は $\pi/4$ より小さくなり、磁気光学効果を応用した可変ファラデー回転子等が用いられている場合に、ファラデー回転角 $\alpha$ を最大値に設定しているときの消費電力を低減することが可能になる。図15の

(B)に示される第4実施形態においても同様の議論が成り立ち、その場合には、 $\delta = \theta$ とすればよい。図17のような特性を有する可変利得等化器40は、可変の損失傾斜を有している。ここで、「損失傾斜」は、透過率を対数表示で表したときの透過率の波長特性を与える特性曲線が直線的であるときに、その傾きを指す。

【0074】図17に示される特性を有する可変利得等化器40を用いる場合には、例えば、次のように使用波長帯域を選ぶことによって、波長帯域内の損失の平均値(以下、「平均損失」と称する。)を一定に保つことが可能になる。即ち、最大損失又は最小損失が得られる幾つかの波長のうち、隣り合う2つの波長の中心値を使用波長帯域の中心波長に選び、且つ、使用波長帯域の帯域幅をFSR(フリースペクトルレンジ)の1/2よりも小さく設定する。FSRは透過率の波長特性における波長周期を表す。

【0075】図18は、図17に示されるグラフにおいて各々最大損失又は最小損失が得られるA点及びB点の中心値を与えるC点を使用波長帯域の中心波長とし、FSRの1/5を使用波長帯域として選んだ例である。損失傾斜が可変である特性が得られていることがわかる。また、この例では、ファラデー回転角 $\alpha$ を変化させても平均損失は変化しないことがわかる。尚、図18のグラフにおいては、各特性曲線が直線的であることを明らかにするために、完全な直線が破線で示されている。

【0076】図19は本発明に適用可能な光スペクトルモニタ66の構成例を示すブロック図である。光スペク

トルモニタ66は可変利得等化ユニット36の構成要素として用いることができる。

【0077】光スペクトルモニタ66は、光ファイバスパン26から分岐ビームを分岐するための光分岐回路68と、分岐ビームを互いに異なる帯域に含まれる第1及び第2の光ビームに分けるための波長選択光フィルタ70と、第1及び第2の光ビームのパワーをそれぞれ検出するためのフォトディテクタ(PD)72及び74とを備えている。

10 【0078】フォトディテクタ72及び74の出力信号は電気回路(又は制御回路)76に供給される。第1の光ビームは、図20に符号78で示されるような、長波長側の信号を含む帯域を有しており、第2の光ビームは、同図に符号80で示されるような、短波長側の信号を含む帯域を有している。

【0079】従って、フォトディテクタ72の出力信号には帯域78における光パワーP1が反映され、フォトディテクタ74の出力信号には帯域80における光パワーPsが反映される。

20 【0080】例えば、電気回路76の出力信号に(P1-Ps)が反映されるようにすることによって、この出力信号を用いて可変利得等化器40のフィードバック制御を行うことができる。

【0081】即ち、帯域78における光パワーと帯域80における光パワーとがバランスするように、可変利得等化器40における利得又は損失の波長特性が制御されるのである。

30 【0082】このように、光ファイバスパン26における利得傾斜を検出し、検出された利得傾斜が実質的にフラットになるように可変利得等化器40を制御することによって、システム状態の変化に伴う等化誤差の変動を抑圧することができるようになる。

40 【0083】尚、特開平9-159526号に開示されている方法に準じて光スペクトルモニタを構成してもよい。図21は各区間の第2実施形態を示すブロック図である。図6の第1実施形態では光ファイバ30の途中に1台だけ固定利得等化器34が設けられているのに対比して、この実施形態では、複数の固定利得等化器34が用いられている。各利得等化器34は光中継器32内に設けられている。

【0084】図6の第1実施形態では、固定利得等化器34は、区間28に含まれる全ての光増幅器38の利得の波長特性とその区間28の光ファイバ30の損失の波長特性とを概略的に補償しているのに対して、図21の第2実施形態では、各固定利得等化器34は、当該光中継器32に含まれる1台の光増幅器38の利得の波長特性とその光増幅器38に接続される伝送路(光ファイバ30の一部)の損失の波長特性とを概略的に補償すればよいので、各固定利得等化器34の設計が容易になる。

50 【0085】図22は各区間の第3実施形態を示すプロ

ック図である。この実施形態は、1 台の固定利得等化器 3 4 が可変利得等化ユニット 3 6 に含まれている点で特徴づけられる。この実施形態によると、区間 2 8 に含まれる全ての光増幅器 3 8 の利得の波長特性の累積を測定により容易に求めることができるので、最も下流側に位置する可変利得等化ユニット 3 6 において固定利得等化器 3 4 の利得又は損失の波長特性を容易に設計することができる。

【0086】尚、必要に応じて、図 6 の第 1 実施形態と図 2 1 の第 2 実施形態と図 2 2 の第 3 実施形態とを組み合わせてもよい。図 5 に示されるシステムでは、光ファイバスパン 2 6 に含まれる全ての区間 2 8 に可変利得等化ユニット 3 6 が設けられているとしたが、受信装置 2 4 に最も近い区間 2 8 については、可変利得等化ユニット 3 6 を省略してもよい。光受信装置 2 4 において光ファイバスパン 2 6 で残留した利得の波長特性を補償することができるからである。

【0087】図 2 3 は本発明による光通信システムの第 2 実施形態を示すブロック図である。光ファイバスパン 2 6 の両端には第 1 の端局 8 2 と第 2 の端局 8 3 とが接続されている。端局 8 2 及び 8 3 はそれぞれ図 5 に示されるような光送信装置 2 2 及び光受信装置 2 4 を含んでいる。

【0088】第 1 の端局 8 2 は、監視信号 (SV 信号) を光ファイバスパン 2 6 へ送出するために、光送信装置 2 2 に接続される監視制御端末 8 4 を有している。また、各可変利得等化ユニット 3 6 は、SV 信号を受けるための SV 受信機 8 6 を有している。各可変利得等化ユニット 3 6 にあっては、SV 信号により自動制御及び遠隔制御が可能である。

【0089】さらに、この実施形態では、双方向伝送を可能にするために、端局 8 2 及び 8 3 間にはもう 1 つの光ファイバスパン 2 6' が敷設されている。端局 8 3 は光ファイバスパン 2 6' の一端に接続される光送信装置 2 2' を有しており、端局 8 2 は光ファイバスパン 2 6' の他端に接続される光受信装置 2 4' を有している。光ファイバスパン 2 6' は、それぞれ光ファイバ 3 0、光中継器 3 2 及び可変利得等化器 4 0 に対応する光ファイバ 3 0'、光中継器 3 2' 及び可変利得等化器 4 0' を含む。光ファイバスパン 2 6' の効果的な利用については後述する。

【0090】この実施形態によると、SV 受信機 8 6 が受けた SV 信号に従って可変利得等化器 4 0 の動作をオン/オフすることができ、或いは、SV 受信機 8 6 が受けた SV 信号に基づいて可変利得等化器 4 0 の制御を行うことができる。

【0091】SV 信号は光送信装置 2 2 から光受信装置 2 4 へ送られる主信号に重畳されてもよいし、光送信装置 2 2 から光受信装置 2 4 へ送られる WDM 信号光の専用チャネルの光信号を用いて SV 信号の伝送を行っても

よい。

【0092】図 2 4 の (A) 及び (B) は可変利得等化ユニット 3 6 の第 1 及び第 2 実施形態を示すブロック図である。図 2 4 の (A) に示される実施形態は、例えば、WDM 信号光の専用チャネルを用いて SV 信号を伝送するシステムに適用可能である。専用チャネルの光信号は WDM カプラ 8 8 により抽出され、抽出された光信号に基づいて SV 受信機 8 6 が SV 信号を再生する。可変利得等化器 4 0 の下流側には例えば図 1 9 に示される光スペクトルモニタ 6 6 が設けられている。

【0093】従って、SV 受信機 8 6 において得られた SV 信号に基づいて、制御回路 7 6 による可変利得等化器 4 0 のフィードバック制御のオン/オフを行うことができる。また、フィードバックした後、可変利得等化器 4 0 の特性を強制的に設定することもできる。これらの機能は、例えば、光ファイバスパン 2 6 についてのシステム調整時に必要である。

【0094】図 2 4 の (B) に示される実施形態は、SV 信号を主信号に重畳するシステムに適用可能である。前述のように、制御回路 7 6 は、フォトディテクタ 7 2 及び 7 4 の出力信号の差が 0 又は一定になるように可変利得等化器 4 0 を制御している。ここでは、SV 受信機 8 6 は、フォトディテクタ 7 2 及び 7 4 の出力信号の和に基づいて SV 信号を再生する。そして、制御回路 7 6 による可変利得等化器 4 0 のフィードバック制御が、SV 受信機 8 6 において得られた SV 信号に基づいてオン/オフされる。

【0095】図 2 4 の (A) に示される実施形態では、SV 受信機 8 6 が SV 信号を再生するために図示しないフォトディテクタを別途必要とするのに対して、図 2 4 の (B) に示される実施形態では、そのようなフォトディテクタ及び WDM カプラ 8 8 が不要である。

【0096】図 2 5 は可変利得等化ユニット 3 6 の第 3 実施形態を示すブロック図である。ここでは、SV 受信機 8 6 において得られた SV 信号に基づいて、制御回路 7 6 が直接可変利得等化器 4 0 の利得又は損失の波長特性を制御している。可変利得等化器 4 0 の波長特性の制御は、例えば、受信側で得られた光スペクトルを基に行うことができる。この実施形態によると、光スペクトルモニタ 6 6 が不要になるので、可変利得等化ユニット 3 6 の構成を簡単にすることができる。

【0097】図 2 4 の (A) 又は (B) に示される実施形態と図 2 5 に示される実施形態とを組み合わせると本発明を実施しても良い。そうすることによって、例えば、通常は図 2 4 の (A) 又は (B) に示される実施形態によりフィードバック制御を行い、異常時には図 2 5 に示される実施形態により外部からの SV 信号によって強制制御を行う等も可能である。

【0098】図 2 6 は可変利得等化ユニット 3 6 の第 4 実施形態を示すブロック図である。ここでは、可変利得

10

20

30

40

50

等化器 4 0 は、各々光ファイバスパン 2 6 の一部となり得る 2 つの光路を切り換えるための 2 つの光スイッチ 9 0 ( # 1 及び # 2 ) と、上記 2 つの光路に設けられ互いに異なる損失の波長特性を有する 2 つの光フィルタ 9 2 ( # 1 及び # 2 ) とを備えている。

【 0 0 9 9 】 具体的には、光スイッチ 9 0 ( # 1 ) は 1 × 2 光スイッチであり、光スイッチ 9 0 ( # 2 ) は 2 × 1 光スイッチである。光スイッチ 9 0 ( # 1 ) の入力ポートは入力側に配置され、光スイッチ 9 0 ( # 1 ) の 2 つの出力ポートと光スイッチ 9 0 ( # 2 ) の 2 つの入力ポートとの間にそれぞれ光フィルタ 9 2 ( # 1 及び # 2 ) が設けられ、光スイッチ 9 0 ( # 2 ) の出力ポートは出力側に配置される。

【 0 1 0 0 】 そして、SV 受信機 8 6 において得られた SV 信号に基づいて、制御回路 7 6 が光スイッチ 9 0 ( # 1 及び # 2 ) を制御し、それにより、2 つの光路のうちの何れか一方が選択されるようになっている。

【 0 1 0 1 】 各光スイッチとしては、磁気光学効果を用いた光スイッチを用いることができる。図 2 7 を参照すると、図 2 6 に示される光フィルタ 9 2 ( # 1 及び # 2 ) の損失の波長特性の例が示されている。ここでは、光フィルタ 9 2 ( # 1 及び # 2 ) のうちの一方は、符号 9 4 で示されるように、傾斜が正である損失の波長特性を有しており、他方は、符号 9 6 で示されるように、傾斜が負である損失の波長特性を有している。

【 0 1 0 2 】 図 2 6 に示される実施形態によっても、固定利得等化器 3 4 による利得等化で残留した等化誤差の波長特性を補償して、光ファイバスパン 2 6 についての利得傾斜をフラットにすることができる。

【 0 1 0 3 】 図 2 8 の ( A ) 及び ( B ) は可変利得等化ユニット 3 6 の第 5 及び第 6 実施形態の主要部を示すブロック図である。第 5 及び第 6 実施形態の各々では、可変利得等化器 4 0 の構成が図示されている。

【 0 1 0 4 】 図 2 8 の ( A ) は、図 2 6 の第 4 実施形態と対比して、2 つの光路が N ( N は 2 より大きい整数 ) の光路に拡張されている点で特徴づけられる。即ち、1 × N 光スイッチ 9 0 ( # 1 ) ' と N × 1 光スイッチ 9 0 ( # 2 ) ' との間に光フィルタ 9 2 ( # 1 , … , # N ) が並列に設けられているのである。

【 0 1 0 5 】 光フィルタ 9 2 ( # 1 , … , # N ) は互いに異なる損失の波長特性を有している。従って、図 2 6 に示される第 4 実施形態と対比して、等化誤差の補償を木目細かに行うことができる。

【 0 1 0 6 】 図 2 8 の ( B ) に示される実施形態は、図 2 6 の第 4 実施形態と対比して、光フィルタ 9 2 ( # 1 及び # 2 ) と光スイッチ 9 0 ( # 2 ) との間に 2 × 2 光スイッチ 9 0 ( # 3 ) と 2 つの光フィルタ 9 2 ( # 3 及び # 4 ) とを付加的に設けている点で特徴づけられる。

【 0 1 0 7 】 この実施形態によると、光フィルタ 9 2 ( # 1 及び # 3 ) がカスケード接続された状態と、光フ

ィルタ 9 2 ( # 1 及び # 4 ) がカスケード接続された状態と、光フィルタ 9 2 ( # 2 及び # 3 ) がカスケード接続された状態と、光フィルタ 9 2 ( # 2 及び # 4 ) がカスケード接続された状態とを切り換えることができるので、図 2 8 の ( A ) に示される第 5 実施形態におけるのと同じように利得誤差を木目細やかに補償することができる。

【 0 1 0 8 】 図 2 9 は本発明による光通信システムの第 3 実施形態を示すブロック図である。ここでは、第 2 の端局 8 3 で光ファイバスパン 2 6 における利得傾斜を検出するために、光ファイバスパン 2 6 から送られてきた WDM 信号光から分岐ビームを得るための光分岐回路 9 8 と、分岐ビームに基づいて光ファイバスパン 2 6 の利得傾斜を検出するための光スペクトルモニタ又は光スペクトルアナライザ 1 0 0 とが設けられている。検出された利得傾斜に関する情報は光スペクトルモニタ 1 0 0 から監視制御端末 8 4 ' へ送られ、監視制御端末 8 4 ' により光送信装置 2 2 ' が動作することによって、検出された利得傾斜に関する情報を含む SV 信号が光ファイバスパン 2 6 ' により第 1 の端局 8 2 へ送られる。第 1 の端局 8 2 では、送られてきた SV 信号が光受信装置 2 4 ' により再生され、再生された SV 信号は監視制御端末 8 4 に供給される。

【 0 1 0 9 】 従って、第 2 の端局 8 3 で検出された利得傾斜がフラットになるようなフィードバック制御を各可変利得等化ユニット 3 6 について行うことができる。即ち、第 1 の端局 8 2 から各可変利得等化ユニット 3 6 に送られる SV 信号を制御信号として用い、その制御信号に基づいて各可変利得等化器 4 0 を制御するのである。

【 0 1 1 0 】 この実施形態によっても、各可変利得等化ユニット 3 6 において、各可変利得等化器 4 0 が制御信号により制御されることによって、光ファイバスパン 2 6 についての利得傾斜をフラットにすることができる。

【 0 1 1 1 】 図 3 0 は本発明による光通信システムの第 4 実施形態を示すブロック図である。ここでは、光ファイバスパン 2 6 における利得傾斜が第 2 の端局 8 3 において検出されるのは図 2 9 の第 3 実施形態と同じであるが、検出された利得傾斜に関する情報を光ファイバスパン 2 6 ' により直接各可変利得等化ユニット 3 6 へ送るようにしている。即ち、第 2 の端局 8 3 から各可変利得等化ユニット 3 6 へ送られる SV 信号を制御信号として用い、その制御信号を各可変利得等化ユニット 3 6 が受けるために、光ファイバスパン 2 6 ' に付随して各可変利得等化ユニット 3 6 には SV 受信機 8 6 ' が設けられている。

【 0 1 1 2 】 従って、SV 受信機 8 6 ' が受けた制御信号に基づいて各可変利得等化器 4 0 を制御することによって、光ファイバスパン 2 6 についての利得傾斜をフラットにすることができる。

【 0 1 1 3 】 尚、第 1 の端局 8 2 についても第 2 の端局

83と同じように構成して、光ファイバスパン26に付随して各可変利得等化ユニット36に設けられるSV受信機86を用いて各可変利得等化器40'を制御して、光ファイバスパン26'についての利得傾斜をフラットにするようにしてもよい。

【0114】図31は本発明による方法の他の実施形態を説明するための図である。これまでの実施形態では、固定利得等化器34を用いて実質的に線形に変化する利得が得られるようにしているが、固定利得等化器34を省略して本発明を実施することもできる。例えば、各光増幅器38の利得の波長特性が、図31に符号102で示される特性と符号104で示される特性との間で変化し得る場合、符号106で示される帯域内においては、常に、波長に対して実質的に線形に変化する利得が得られる。従って、各光増幅器38に供給される光の波長を帯域106内に制限することによって、固定利得等化器34を省略することができる。

【0115】例えば、各光増幅器38がEDFAである場合には、EDFAに供給される増幅すべき信号光の波長は概略1540nm乃至1565nmの範囲内に制限される。このような波長の制限は、例えば、図5に示される光送信機2（#1, ..., #N）から出力される光信号の波長の適切な設定又は制御により可能である。

#### 【0116】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、システム状態の変化に伴う等化誤差の変動を抑圧することが可能な利得等化のための方法並びに該方法の実施に使用する装置及びシステムの提供が可能になるという効果が生じる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】図1はWDM（波長分割多重）が適用される光通信システム（従来技術）の例を示すブロック図である。

【図2】図2は図1に示されるシステムにおけるWDM信号光のスペクトルの例を示す図である。

【図3】図3は利得等化法（従来技術）の説明図である。

【図4】図4は従来の利得等化法の問題点の説明図である。

【図5】図5は本発明による光通信システムの第1実施形態を示すブロック図である。

【図6】図6は各区間の第1実施形態を示すブロック図である。

【図7】図7は利得の波長特性の変化を説明するためのグラフである。

【図8】図8は $g(\lambda) - f(\lambda)$ の波長特性を示すグラフである。

【図9】図9は等化誤差の波長特性の例を示すグラフである。

【図10】図10は等化誤差の波長特性の他の例を示す

グラフである。

【図11】図11は可変利得等化器の第1実施形態を示すブロック図である。

【図12】図12は可変利得等化器の第2実施形態を示すブロック図である。

【図13】図13は図12に示される可変利得等化器の利得の波長特性の変化を説明するための図である。

【図14】図14は可変光フィルタの損失の波長特性の例を示す図である。

10 【図15】図15の（A）及び（B）は可変利得等化器の第3及び第4実施形態を示す図である。

【図16】図16は図15の（A）及び（B）に示される可変利得等化器の各実施形態における部材間の位置関係を示す図である。

【図17】図17は透過率の波長特性の例を示すグラフである。

【図18】図18は透過率の波長特性の他の例を示すグラフである。

20 【図19】図19は光スペクトルモニタの例を示すブロック図である。

【図20】図20は図19に示される光スペクトルモニタの動作を説明するための図である。

【図21】図21は各区間の第2実施形態を示すブロック図である。

【図22】図22は各区間の第3実施形態を示すブロック図である。

【図23】図23は本発明による光通信システムの第2実施形態を示すブロック図である。

30 【図24】図24の（A）及び（B）は可変利得等化ユニットの第1及び第2実施形態を示すブロック図である。

【図25】図25は可変利得等化ユニットの第3実施形態を示すブロック図である。

【図26】図26は可変利得等化ユニットの第4実施形態を示すブロック図である。

【図27】図27は図26に示される2つの光フィルタの損失の波長特性の例を示す図である。

40 【図28】図28の（A）及び（B）は可変利得等化ユニットの第5及び第6実施形態の主要部を示すブロック図である。

【図29】図29は本発明による光通信システムの第3実施形態を示すブロック図である。

【図30】図30は本発明による光通信システムの第4実施形態を示すブロック図である。

【図31】図31は本発明による方法の他の実施形態を説明するための図である。

#### 【符号の説明】

2 光送信機

4 光マルチプレクサ

50 12 光デマルチプレクサ

- 1 4 光受信機  
2 2 光送信装置  
2 4 光受信装置  
2 6 光ファイバスパン  
2 8 区間

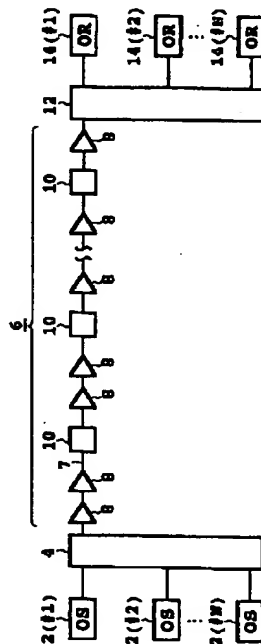
- 3 2 光中継器  
3 4 固定利得等化器  
3 6 可変等化ユニット  
3 8 光増幅器  
4 0 可変利得等化器

【図 1】

【図 2】

【図 3】

WDMが適用される光通信システムの  
例を示すブロック図 (従来技術)



【図 4】

従来の利得等化法の問題点の説明図

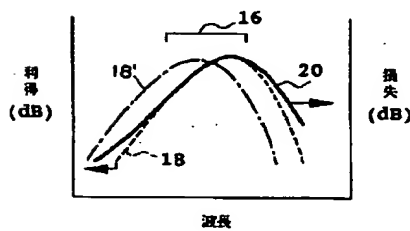
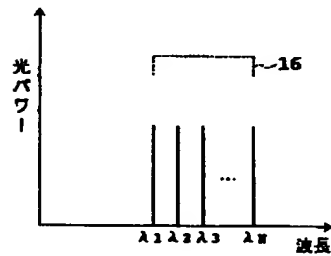
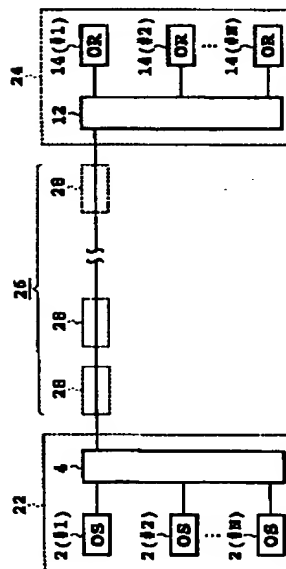


図 1 のシステムにおける WDM 信号光の  
スペクトルの例を示す図 (従来技術)

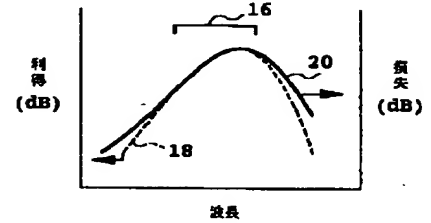


【図 5】

本発明による光通信システムの  
第 1 実施形態を示すブロック図

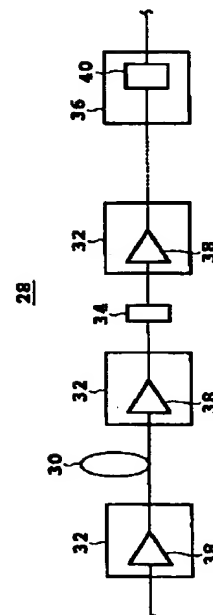


利得等化法の説明図  
(従来技術)



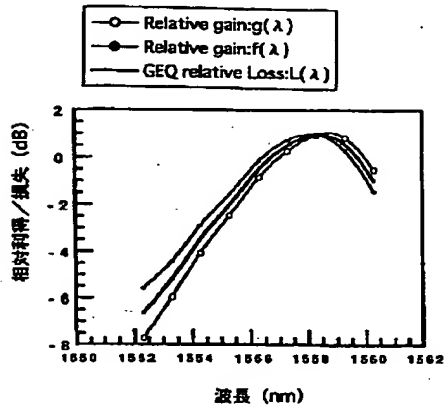
【図 6】

各区間の第 1 実施形態を示すブロック図



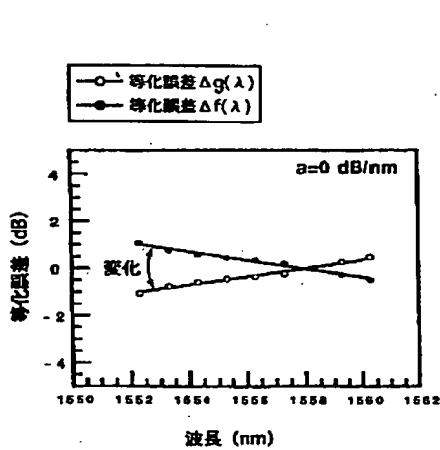
【図7】

利得の波長特性の変化を説明するためのグラフ



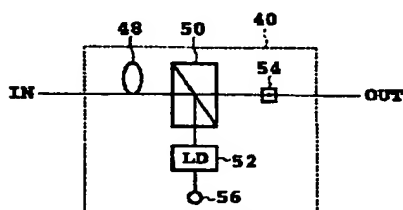
【図9】

等化器差の波長特性の例を示すグラフ

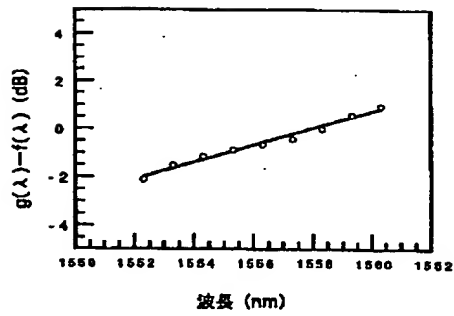


【図12】

可変利得等化器の第2実施形態を示すブロック図

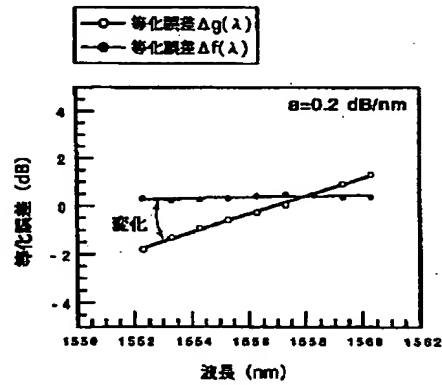


【図8】

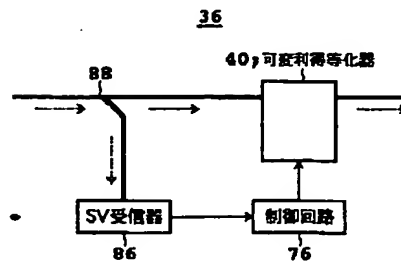
 $g(\lambda) - f(\lambda)$ の波長特性を示すグラフ

【図10】

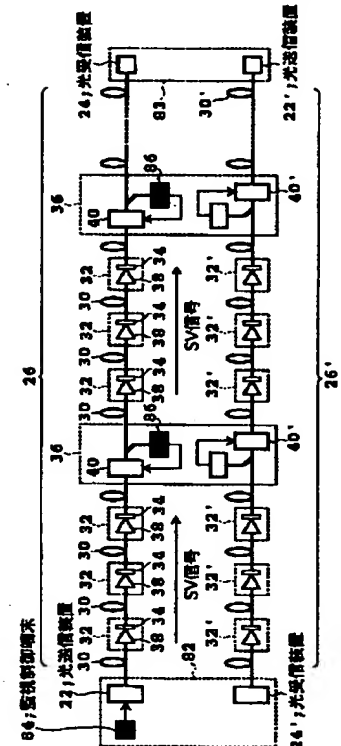
等化器差の波長特性の他の例を示すグラフ



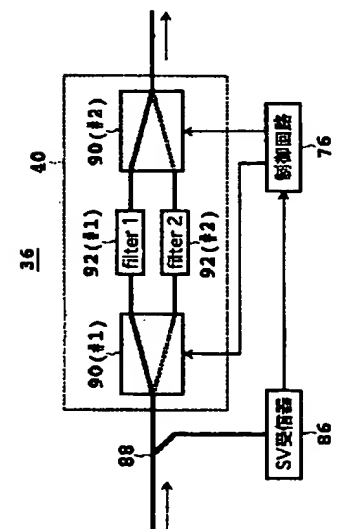
【図25】

可変利得等化ユニットの  
第3実施形態を示すブロック図

【図23】

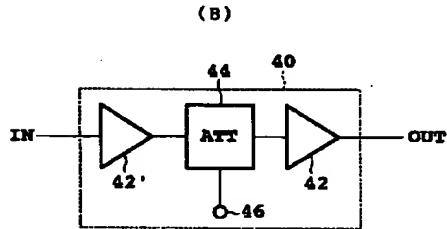
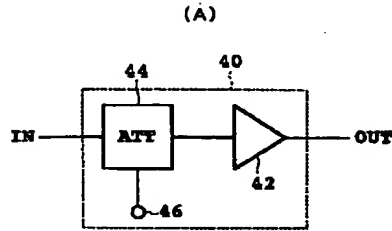
本発明による光通信システムの  
第2実施形態を示すブロック図

【図26】

可変利得等化ユニットの  
第4実施形態を示すブロック図

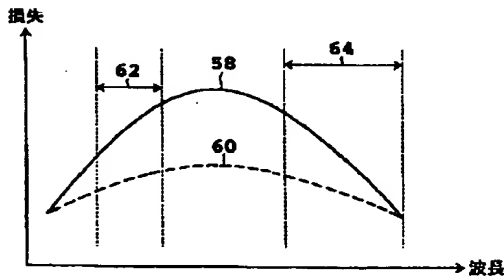
【図11】

可変利得等化器の第1実施形態を示すブロック図



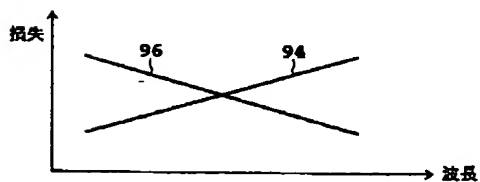
【図14】

可変光フィルタの損失の波長特性の例を示す図



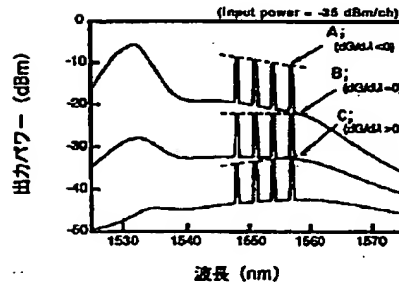
【図27】

図26に示される2つの光フィルタの損失の波長特性の例を示す図



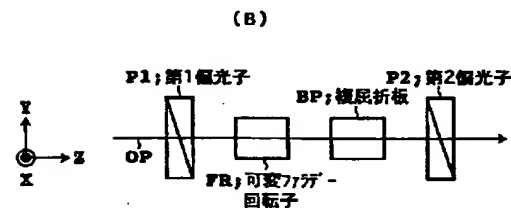
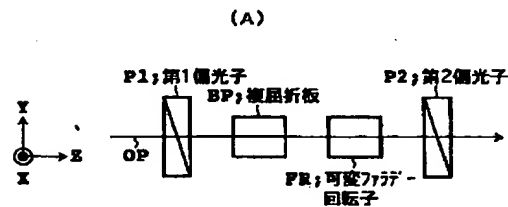
【図13】

図12に示される可変利得等化器の利得の波長特性の変化を説明するための図



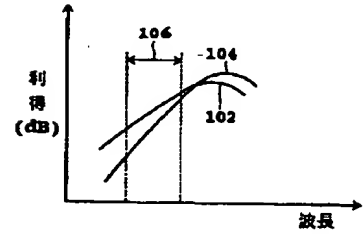
【図15】

可変利得等化器の第3及び第4実施形態を示す図



【図31】

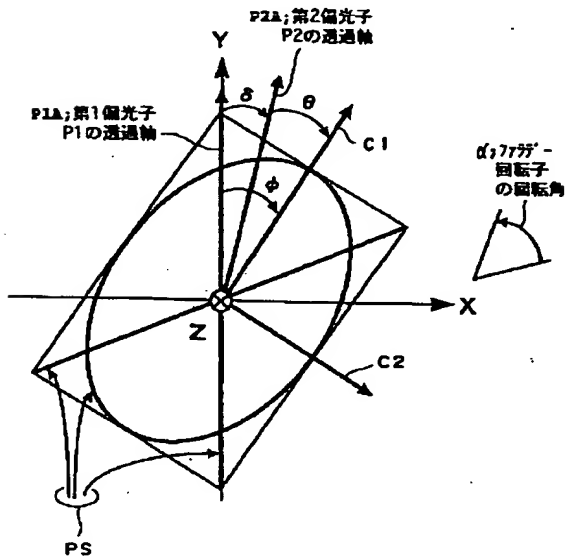
本発明による方法の他の実施形態を説明するための図





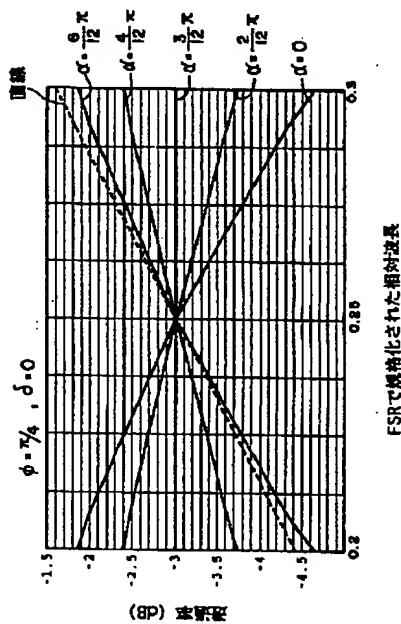
【図16】

図15の(A)及び(B)に示される可変利得等化器の  
各実施形態における部材間の位置関係を示す図



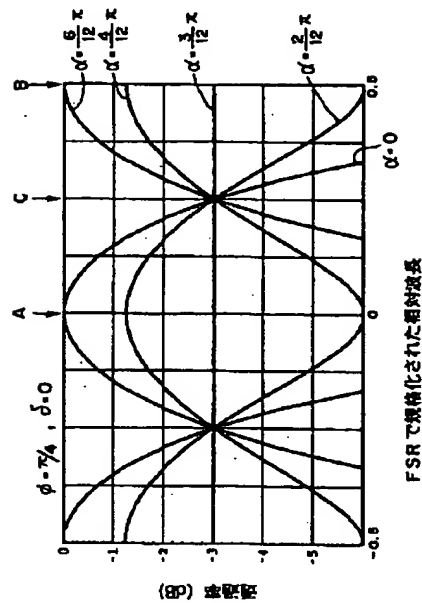
【図18】

透過率の波長特性の他の例を示すグラフ



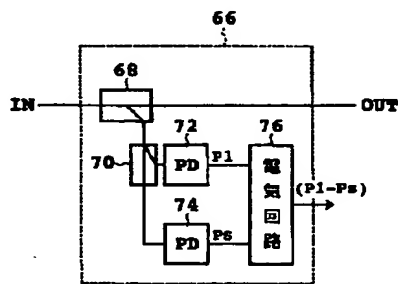
【図17】

透過率の波長特性の例を示すグラフ



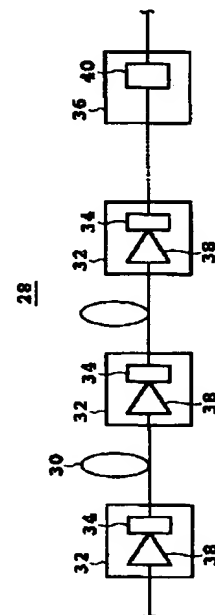
【図19】

光スペクトルモニタの例を示すブロック図



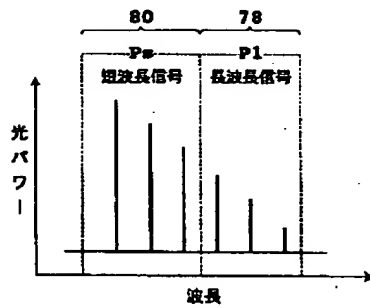
【図21】

各区間の第2実施形態を示すブロック図



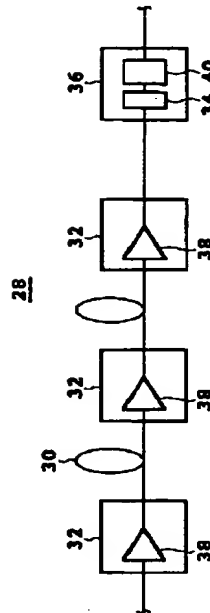
【図 20】

図 19 に示される  
光スペクトルモニタの動作を説明するための図



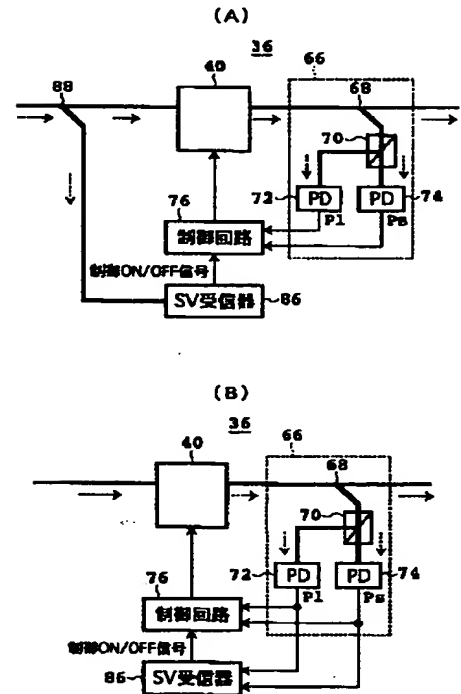
【図 22】

各区間の第 3 実施形態を示すブロック図



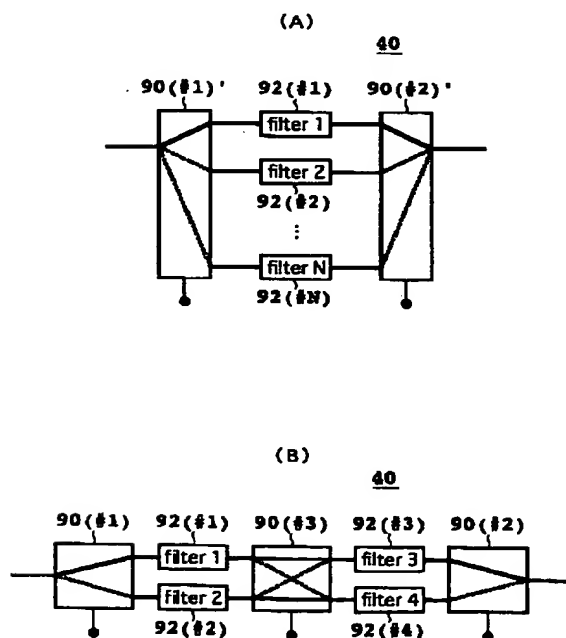
【図 24】

可変利得等化ユニットの  
第 1 及び第 2 実施形態を示すブロック図



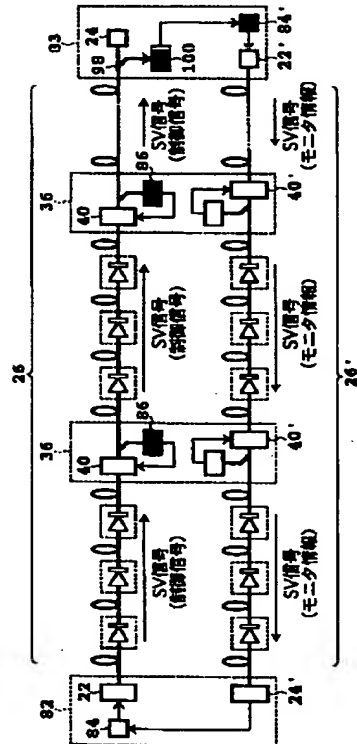
【図 28】

可変利得等化ユニットの  
第 5 及び第 6 実施形態の主要部を示すブロック図



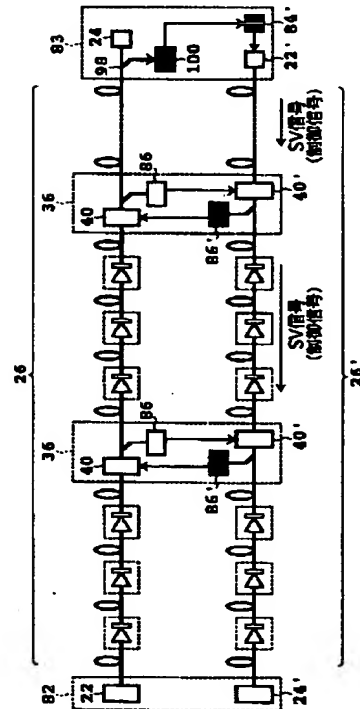
【図29】

本発明による光通信システムの  
第3実施形態を示すブロック図



【図30】

本発明による光通信システムの  
第4実施形態を示すブロック図



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

識別記号

F I

H 0 4 B 10/16

H 0 4 B 9/00

M

10/02

10/18